QB期刊 天津大学宋浩教授团队综述基于导电蛋白质的电活性微生物胞外电子传递的前沿进展

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/25668.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

QB期刊
天津大学宋
浩教授团队综述基于导
电蛋白质的电活性微生物胞外电子传递的前沿进展。论文标题：Conductive proteins-based extracellular electron transfer of electroactive microorganisms

期刊：Quantitative Biology

作者：Junqi Zhang, Zixuan You, Dingyuan Liu, Rui Tang, Chao Zhao, Yingxiu Cao, Feng Li, Hao Song

发表时间：27 November 2023

DOI：https://doi.org/10.1002/qub2.24

微信链接：点击此处阅读微信文章

电活性微生物（Electroactive microorganisms, EAMs）可利用胞外电子传递途径与外界环境进行能量交换，其中导电色素蛋白和纳米线在调控细胞电子传递过程中发挥重要作用。然而，EAMs较低的电子传递能力以及关键蛋白质有限的挖掘和结构解析极大地限制了其实际应用潜力。近年来，随着合成生物学和微生物电化学的发展，理论计算耦合工程改造提高电子传输的研究引起了广泛关注。通过数学建模来评估胞内电子生成以及胞外电子传递的动力学参数，可以为电活性微生物及导电蛋白质的理性设计和工程改造提供理性指导。

近日，天津大学化工学院宋浩教授团队回顾了以细胞色素和导电纳米线为核心的导电蛋白质在微生物电子传递过程中的关键作用。文章综述了细胞内电子生成和界面电子传递的动力学计算模型，揭示了细胞色素蛋白和导电纳米线的结构、功能、电子传导机制和工程策略，并展望了细胞色素和导电纳米线未来潜在的研究方向，为理性提高EAMs的电子传递能力以及推动电活性微生物实际应用提供了参考。相关文章以Conductive proteins‐based extracellular electron transfer of electroactive microorganisms为题发表在了Quantitative Biology期刊上。张君奇博士和由紫暄博士为共同一作，李锋副研究员和宋浩教授为文章通讯作者。

Check for updates

Received: 27 February 2023 | Accepted: 14 April 2023

DOI: 10.1002/qub2.24

REVIEW ARTICLE

Quantitative Biology
Open Access

Conductive proteins-based extracellular electron transfer of electroactive microorganisms

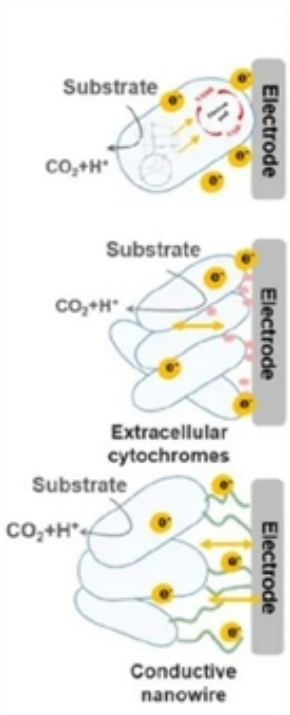
Junqi Zhang | Zixuan You | Dingyuan Liu | Rui Tang | Chao Zhao | Yingxiu Cao | Feng Li | Hao Song

全文概要

本文首先量化解析了胞内电子生成和胞外电子传递的动力学参数；随后研究讨论了细胞色素和导电纳米线的结构成分、功能机制和工程策略；最后评估了通过增强细胞色素和导电纳米线的导电性及表达量来提高电子传递速率的不足之处以及未来的发展方向。

电活性微生物电子传递动力学定量

电子传递能力是微生物在厌氧条件下通过呼吸作用维持其氧化还原状态的必要条件，通过数学建模解析电子传递动力学参数是促进电子传递的重要举措。在本节中，我们首先量化了细胞内电子产生和电子传递的动力学参数（图1）。细胞内电子转移动力学可以利用经典的Nernst-Monod方程来描述；而胞外电子传递则基于Butler-Volmer方程来描述；细胞外基质中的电子传递和能量损失可用类金属传导方程来描述（图1）。



Kinetic processes	Equation name	Formula	Description
Intracellular electron transfer kinetic	Nernst-Monod equation	$j = j_m \frac{s}{s + k_s}\left(\frac{1}{1+\exp\left[-\frac{F}{RT}(E - E_{KA})\right]}\right)$	Characterizing intracellular electron production rate
Extracellular electron transfer kinetic	Butler-Volmer equation	$j = -j_0\left\{\exp\left(\frac{(1-\alpha)nF}{RT}(E - E^f)\right)\right\}$	Characterizing the kinetics of direct electron transfer based on interfacial cytochrome proteins
	Ohm's Law	$j = -\frac{K_{bio}(E_{OM} - E_{interface})}{\Delta z}$	Characterizing the kinetics of long-range electron transfer mediated by extracellular conductive matrix

图1. 细胞电子生成和电子传递的动力学计算

细胞色素的结构、功能、导电机制及过表达

导电色素蛋白是电活性微生物进行胞外电子传递的关键成分。这些细胞色素从内膜开始，跨越周质和外膜，延伸到细胞外环境形成了一条特殊的电子传递途径。在这里，我们首先根据细胞色素在细胞膜上的位置和电子传递途径将其分为三种类型：细胞膜内、质周空间和外膜细胞色素（图2），并详细介绍了每一类具有代表性的细胞色素的结构和功能。理解这种电子传递机制通常需要将蛋白质的三维结构与热力学和动力学参数结合起来。细胞色素蛋白介导的电子转移速率与蛋白内部血红素的空间排列以及还原电位密切相关。血红素的氧化还原电位直接决定了细胞色素蛋白的导电特性。因此我们从宏观和微观角度着手，详细综述了色素蛋白中电子传递的机制。最后，我们对近年来工程改造细胞色素蛋白的工程策略进行了系统分析，加深了对细胞色素在电子传递过程中的理解。

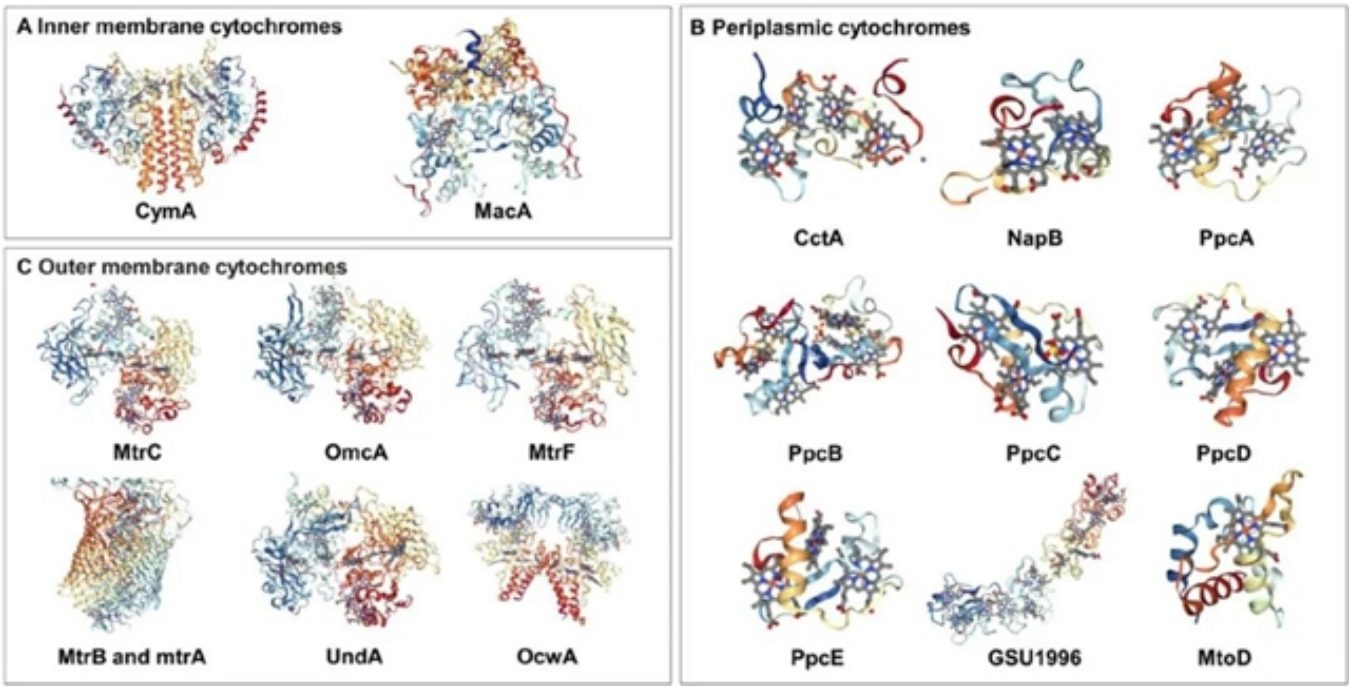


图2. 细胞色素蛋白分类及结构 A.内膜细胞色素; B.周质空间细胞色素；C外膜细胞色素

导电纳米线结构、功能、导电机制及工程改造

导电纳米线，包括e-pili和细胞色素纳米线，是介导EAMs中远程电子转移的必要条件。在本节中我们重点归纳了导电纳米线的结构组成、电子传递机制以及工程改造策略。导电纳米线中电子传递机制截止目前仍存在着激烈的争论。一种观点是离域电荷转移理论，该理论认为纳米线中芳香氨基酸的π-π键轨道重叠导致pili中电荷以离域模式转移。另一种观点是电子跳跃理论，该理论认为纳米线的导电性是由于血红素的无缝堆叠形成的微米级细丝为电子跳跃提供了连续的路径造成的。这两种理论为我们展现了科学之美。基于对这些机制的理解，我们对工程化提高纳米线导电性的策略进行了回顾（图3）。

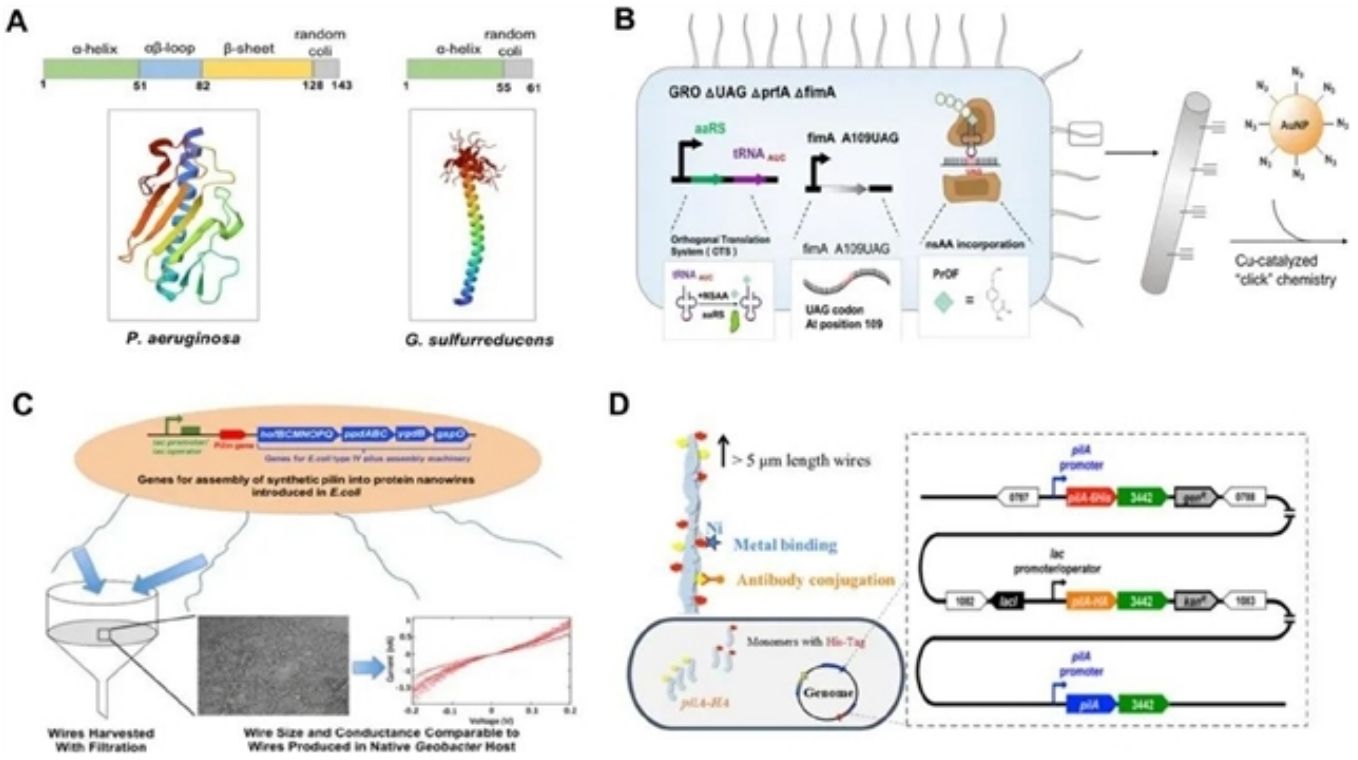


图3. 工程改造导电纳米线 A. PaPilA和GsPilA的三级结构和序列图；B. 高电导率pili纳米线的工程设计；C. 大肠杆菌中异源合成e-pili；D. 利用短肽修饰e-pili表面。

展望

最后，我们讨论了目前EAMs的机理解析和工程改造存在的局限性，并从以下两个方面探讨了未来的研究方向：

1. 深入探索电子转移机制。随着电活性微生物不断发掘，新的电子传递机制也在不断被阐明。然而，由于微生物之间的电子传递难以直接测量，精确监测这一过程仍具有挑战性。因此，通过合理的数学建模，对电子传递动力学进行定量评估是探索微生物如何交流、生长和发展的重要手段。

2. 细胞色素和导电纳米线的重构。以往对电子传递动力学的量化研究为细胞色素和导电纳米线介导的电子传递途径的工程改造提供了重要的理论基础。未来的研究可以利用机器学习预测蛋白分子构象，评估细胞色素和血红素的适应机制，优化细胞色素复合物之间的结合位点和空间排列，以增强电子传递。此外，基于纳米材料或聚合物构建高导电性生物杂合体也在提高电子传输方面显示出巨大潜力。这些集成系统将为生物发电、CO2固定和高附加值化学品合成带来新的可能性。

QB期刊介绍

Quantitative Biology （QB）期刊是由清华大学、北京大学、高教出版社联合创办的全英文学术期刊。QB主要刊登生物信息学、计算生物学、系统生物学、理论生物学和合成生物学的最新研究成果和前沿进展，并为生命科学与计算机、数学、物理等交叉研究领域打造一个学术水平高、可读性强、具有全球影响力的交叉学科期刊品牌。

QB期刊目前已被ESCI, Scopus,
CSCD等国内外重要数据库收录。Citescore2021=4.6，2023年将获得第一个影响因子（IF）。



《前沿》系列英文学术期刊

由教育部主管、高等教育出版社主办的《前沿》（Frontiers）系列英文学术期刊，于2006年正式创刊，以网络版和印刷版向全球发行。系列期刊包括基础科学、生命科学、工程技术和人文社会科学四个主题，是我国覆盖学科最广泛的英文学术期刊群，其中12种被SCI收录，其他也被AHCI、Ei、MEDLINE或相应学科国际权威检索系统收录，具有一定的国际学术影响力。系列期刊采用在线优先出版方式，保证文章以最快速度发表。

中国学术前沿期刊网

http://journal.hep.com.cn



特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“ 来源 ”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
来源：Quantitative Biology

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发